

VŠB - Technická Univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Bakalářská práce

2015

Šárka Kolébalová

VŠB - Technická Univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Porovnání parametrů asynchronního stroje při
napájení ze sítě a z měniče kmitočtu**

**Comparison of Parameters of Induction Motor
Supplied by Network and Frequency Converted**

Student:
Vedoucí bakalářské práce:
Ostrava 2015

Šárka Kolébalová
Ing. Petr Kačor, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Šárka Kolébalová**
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907R001 Elektroenergetika**
Téma: **Porovnání parametrů asynchronního stroje při napájení ze sítě a z
měniče kmitočtu**
**Comparison of Parameters of Induction Motor Supplied by Network
and Frequency Converter**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popište konstrukci a provedení asynchronního stroje
3. Proveďte rozbor vlivu harmonických vyšších řádů na činnost as. stroje
4. Proveďte měření as. motoru při napájení ze sítě a z měniče kmitočtu.
5. Měření vyhodnoťte
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- KOPYT OV, Igor, Petrovič. Stavba elektrických strojů, 1988, Praha, SNTL/MIR
- CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů, Praha, 1958, SNTL
- KAČOR, Petr. Vybrané typy elektrických strojů, Ostrava, 2010, VŠB-TU Ostrava
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta o autorství

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

V Ostravě dne 6.5.2015

Košťálová

Podpis studenta

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je porovnat parametry asynchronního stroje při napájení ze zítě s parametry z měniče kmitočtu. Měření probíhalo v laboratoři pod dohledem vedoucího bakalářské práce, kde jsme měli k dispozici asynchronní motor, dynamometr, měnič a další potřebné přístroje.

Abstract:

The objective of the bachelor's work is to compare the parameters of the induction machine supplied by network with the parameters of the frequency converter. Measurements were carried out in the laboratory under the supervisor's surveillance of the task. We work with an asynchronous motor, dynamometer, converter, and other necessary device.

Klíčová slova:

Stator, rotor, trojfázový asynchronní motor, otáčky, skluz, moment, měnič, harmonické, frekvence

Keywords:

Stator, rotor, free-phase asynchronous motor, speed, slippage, moment, convertor, harmonic, frequency

Seznam použitých symbolů

$\cos \varphi$	(-)	účinník
f	(Hz)	frekvence
i_0	(%)	procentní proud naprázdno
I	(A)	proud
I_n	(A)	jmenovitý proud
I_{rms}	(A)	efektivní hodnota proudu
I_0	(A)	proud naprázdno
M	(Nm)	moment
M_m	(Nm)	maximální moment
M_N	(Nm)	jmenovitý moment
M_z	(Nm)	záběrný moment
n_m	(min ⁻¹)	jmenovité otáčky
n_s, n	(min ⁻¹)	otáčky
p	(-)	počet pólů
P	(W)	výkon
P_1, P_2, P_3	(W)	příkon
s	(%)	skluz
s_n	(%)	jmenovitý skluz
S	(VA)	zdánlivý příkon
U	(A)	napětí
η	(%)	účinnost
ω	(s ⁻¹)	úhlové zrychlení

Seznam obrázků

Obr. 1. Konstrukční uspořádání asynchronního motoru.....	2
Obr. 2.1.1. Časový průběh trojfázového harmonického proudu.....	3
Obr. 2.1.2. Rotor asynchronního motoru – klecové vinutí.....	3
Obr. 2.1.3. Kroužkový motor.....	3
Obr. 2.2.1. Momentová charakteristika asynchronního stroje v motorickém režimu.....	5
Obr. 2.2.2. Momentová charakteristika asynchronního stroje.....	5
Obr. 3. Cesta dominantní přeměny energie v soustavě měnič – motor.....	6
Obr. 3.1. Blokové schéma frekvenčního měniče.....	8

Seznam grafů

Graf č. 1 – Asynchronní motor ve jmenovitém stavu ze sítě naprázdno.....	11
Graf č. 2 - Asynchronní motor s měničem naprázdno.....	11
Graf č. 3 - Asynchronní motor při zatížení.....	12
Graf č. 4 - Asynchronní motor s měničem při zatížení.....	13
Graf č. 5 - Asynchronní motor ze sítě – jmenovitý stav 50Hz/dílek.....	13
Graf č. 6 - Asynchronní motor s měničem – jmenovitý stav 50Hz/dílek.....	14
Graf č. 7 - Asynchronní motor s měničem – jmenovitý stav 100Hz/dílek.....	14
Graf č. 8 - Asynchronní motor naprázdno 50Hz/dílek.....	15
Graf č. 9 - Asynchronní motor s měničem naprázdno 100Hz/dílek.....	15
Graf č. 10 - Asynchronní motor s měničem naprázdno 50Hz/dílek.....	16
Graf č. 11 – Proud v síti.....	16
Graf č. 12 – Proud v síti – power specter.....	17
Graf č. 13 – Proud v síti v amplitudovém spektru 50Hz/dílek.....	19
Graf č. 14 – Proud v síti v amplitudovém spektru 100Hz/dílek.....	19

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Asynchronní stroj	2
2.1.1.	Stator asynchronního stroje.....	2
2.1.2.	Rotor asynchronního stroje	3
2.2.	Princip činnosti	4
2.2.1.	Synchronní a asynchronní otáčky, skluz.....	4
3.	Asynchronní motor a měnič frekvence	6
3.1.	Měnič frekvence.....	7
3.2.	Řízení otáček změnou kmitočtu statorového napětí	8
3.3.	Harmonické kmitočty	8
3.4.	Vliv harmonických na zařízení	9
4.	Měření hodnot asynchronního motoru a měniče.....	9
4.1.	Použité přístroje	9
4.2.	Naměřené data	9
4.3.	Výpočty.....	10
5.	Grafy z měření.....	11
5.1.	Motor a měnič - naprázdno	11
5.2.	Asynchronní motor a měnič - při zatížení	12
5.3.	Asynchronní motor ze sítě a měnič – jmenovitý stav	13
5.3.1.	Spektrum harmonických:	13
5.3.2.	Power spectrum	15
5.4.	Proud v síti bez vlivu motoru a měniče	17
6.	Závěr.....	19
7.	Literatura.....	20

1. Úvod

Tato práce se zabývá popisem asynchronního stroje, vlivem harmonických vyšších řádů a činnosti tohoto stroje. Asynchronní stroj je v podstatě transformátor, jehož sekundární vinutí je pohyblivé a je spojeno dokrátka. Pro jednoduchost jejich konstrukce se používá tento stroj nejčastěji. Má velkou spolehlivost, životnost a používá se i v obtížných provozních podmínkách. Významnou změnou v použití asynchronních strojů bylo použití měničů frekvence pro jejich napájení. Z počátku byly z měničů frekvence napájeny asynchronní stroje běžné konstrukce. U těchto strojů se ale brzy objevil problém zvýšené poruchovosti především poruchy izolačního systému a poruchy ložisek. V dnešní době máme již stále nové nápady a měniče začaly převažovat nad přímo napájenými pohony.

2. Asynchronní stroj

2.1. Konstrukční uspořádání

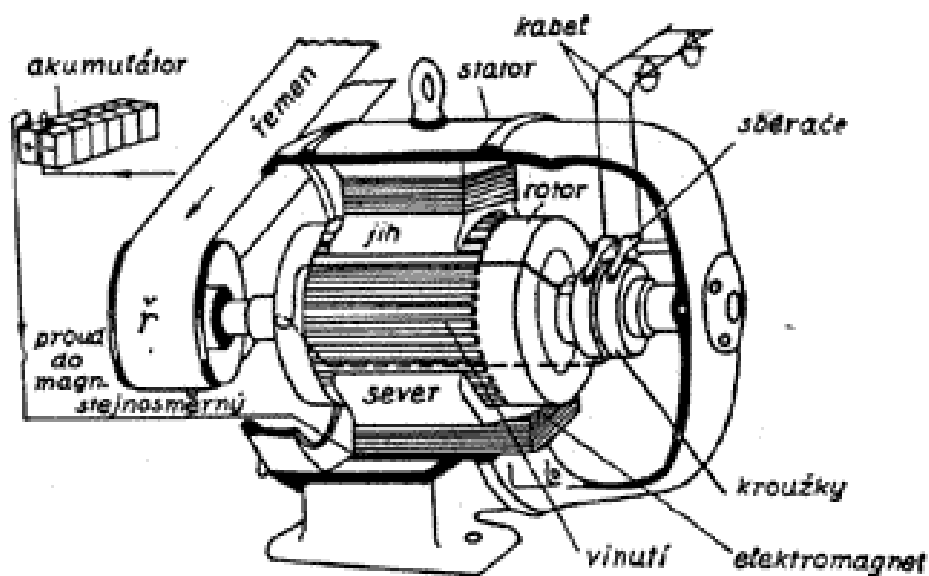
Podle počtu fází statorového vinutí

- Trojfázové
- Dvojfázové
- Jednofázové

Podle provedení rotorového vinutí

Asynchronní motor se skládá ze dvou částí – Pevná část = stator

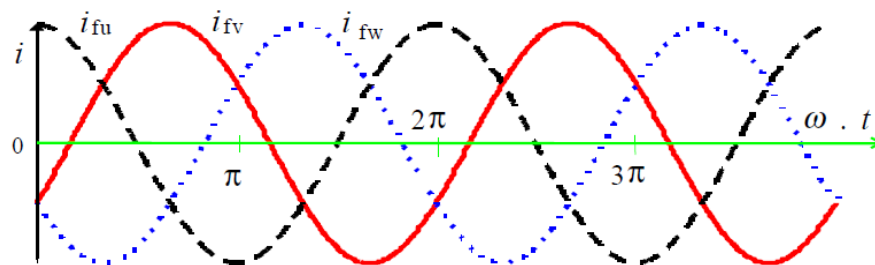
- Pohyblivá část = rotor



Obr.1. konstrukční uspořádání asynchronního motoru

2.1.1. Stator asynchronního stroje

Stator se skládá z litinové konstrukce a dvou ložiskových štítů. Je válcové, duté těleso tvořící magnetický obvod. Tento magnetický obvod stroje je složen ze statorových plechů a je po vnitřním obvodu vydrážkovaný. V drážkách je uloženo trojfázové statorové vinutí. Vinutí jednotlivých fází je posunuto o 120° , kterými protéká harmonický proud. Začátky i konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici, kde se spojují do hvězdy nebo do trojúhelníku.[1]



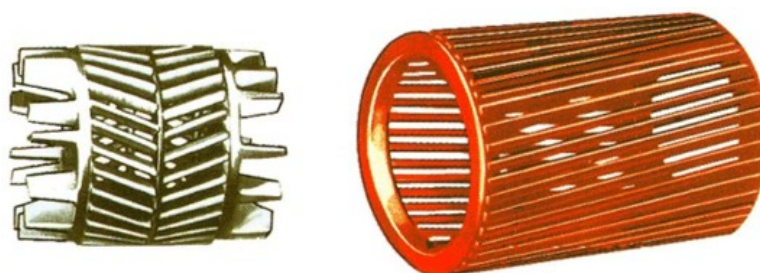
Obr.2.1.1.Časový průběh trojfázového harmonického proudu.[2]

2.1.2. Rotor asynchronního stroje

Rotorové plechy jsou nalisovány na hřídeli, která se otáčí v ložiskách. Tyto plechy vymezují polohu rotoru uvnitř statoru a tvoří další část magnetického obvodu.

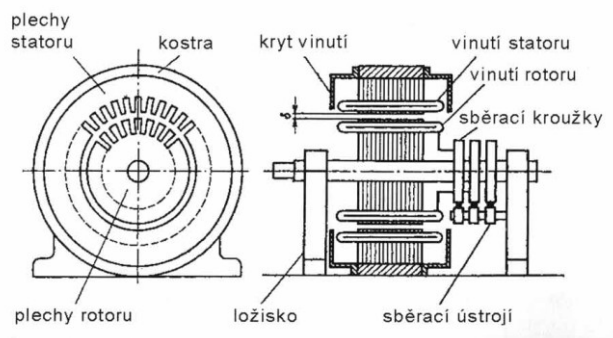
Mezi statorem a rotorem je vzduchová mezera 0,2mm (u drobných strojů) až 2mm(u velkých asynchronních strojů), která umožňuje pohyb rotoru.

- **Klecový = Kotva nakrátko** – V drážkách rotoru jsou uloženy neizolované měděné, mosazné nebo hliníkové tyče, které jsou po obou stranách spojeny kruhy nakrátko. Kdybychom vinutí vyjmuli z rotorového svazku, připomínalo by nám to jako klec. Proto někdy nazývaný Klecový viz obr. 1.2. [1]



Obr. 2.1.2. Rotor asynchronního motoru – klecové vinutí

- **Vinutý = Kroužkový motor** – V drážkách rotoru je uloženo trojfázové vinutí z izolovaných vodičů. Vinutí jednotlivých fází je navzájem posunuto o 120°. Začátky vinutí je spojeno do hvězdy a vývody jsou připojeny ke třem kroužkům, ke kterým přiléhají kartáče. Toto slouží pro spouštění a regulaci otáček motoru.[1]



Obr.2.1.3. Kroužkový motor

2.2. Princip činnosti

Nejrozšířenějším typem asynchronního stroje je trojfázový asynchronní motor, jehož statorové vinutí je připojeno na trojfázovou síť a vytváří točivé magnetické pole, které protíná vodiče rotoru. Indukuje se v nich napětí a v případě, že vinutí rotoru je uzavřeno, protéká jím proud, který vytváří magnetické pole rotoru. Vzájemným působením magnetických polí vzniká síla, působící na vodiče rotoru ve směru pohybu magnetického pole statoru. Napětí a proud se bude ve vodičích rotoru indukovat jen v případě relativního pohybu pole statoru vůči vodičům rotoru. V takovém případě nemohou být otáčky točivého pole statoru n_s a otáčky rotoru n stejné.[2]

2.2.1. Synchronní a asynchronní otáčky, skluz

Otáčky točivého pole statoru tj. synchronní otáčky, jsou dány kmitočtem napájecího napětí a počtem pólů trojfázového motoru :[7]

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [min^{-1}]$$

Hodnoty asynchronních otáček pro $f=50Hz$ v závislosti na p jsou následující:

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_s[min^{-1}]$	3000	1500	1000	750	600	500	-	375	-	300

Těchto otáček nedosáhne motor ani v chodu naprázdno, neboť je bržděn momentem vlastních ztrát od uložení rotoru v ložiskách a od pohonu ventilátoru.

Skutečné otáčky motoru budou nižší :

$$n = n_s \cdot (1 - s_n)$$

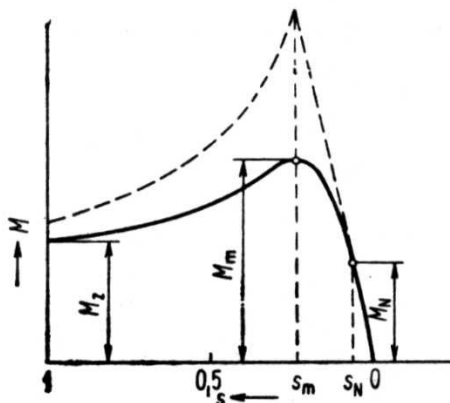
Kde s_n je jmenovitý skluz

$$s_n = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

Podle velikosti motoru se pohybuje skluz v mezích 1,25 až 10%. Skluz je rozdíl mezi synchronními a asynchronními otáčkami.

Asynchronní motor musí stále pracovat se skluzem, tzn. s rozdílem otáček mezi točivým magnetickým polem a rotorem. Pokud by se rotor a točivé magnetické pole otáčeli stejně rychle,

nedocházelo by k indukování napětí v rotoru a rotor by se zastavil. Otáčky rotoru se blíží otáčkám točivého magnetického pole, když motor pracuje naprázdno, tzn. na hřídeli není připojena zátěž (např. cirkulárka, když zrovna neřežeme dřevo). Pokud je motor připojen k síti a zasekne se (např. cirkulárka narazí na suk a kotouč se nemůže otáčet), je motor ve stavu nakrátko, pokud je v tomto stavu dlouho, může se zničit.[3]

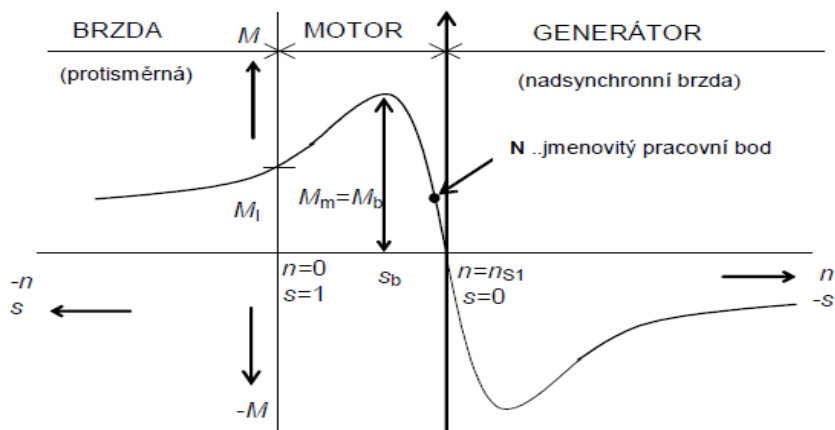


**Momentová charakteristika
asynchronního motoru**
 M_z — záběrný moment, M_N — jmenovitý
moment, M_m — moment zvratu
(maximální), s_m — skluz zvratu, s_N —
jmenovitý skluz

Obr.2.2.1. Momentová charakteristika asynchronního stroje v motorickém režimu

Motor se rozbíhá se záběrným momentem M_z , až do maximálního momentu M_m je **v nestabilním stavu**. Malá změna zatížení způsobí velkou změnu otáček a motor se může zastavit. Po překonání maximálního momentu (momentu zvratu) se dostává motor do **stabilního stavu** a pracuje ve svém jmenovitém stavu – jmenovitý moment M_N se jmenovitými otáčkami n_M . Na změnu zatížení v tomto stavu zareaguje motor malou změnou otáček.[3]

Se záběrným momentem souvisí **záběrný proud**. Při spouštění je motor připojen k síti, ale rotor se ještě netočí – začíná se rozbíhat. Motor je v tzv. **zkratu**, odebírá ze sítě velký zkratový proud. Motory jsou na tento proud dimenzovány, ale zkratový proud zatěžuje síť, proto se musí motory spouštět tak, aby se tento zkratový proud omezil.[3]



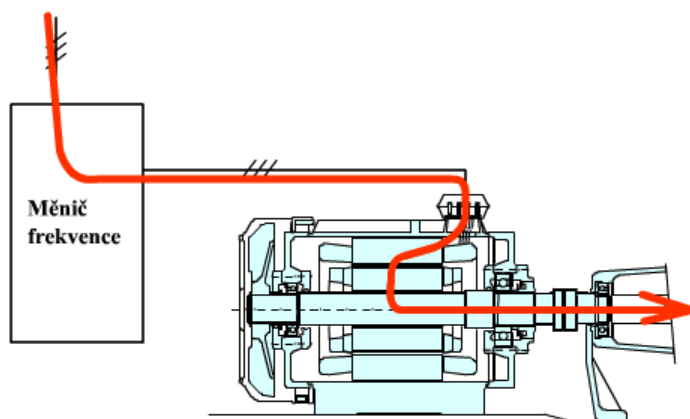
Obr.2.2.2. – Momentová charakteristika asynchronního stroje [2]

Průběh celé momentové charakteristiky asynchronního stroje můžeme vidět taky na obr. 2.2.2.. Z charakteristiky je patrné, že asynchronní stroj pracuje ve třech pracovních režimech[8]:

- **Režim brzdy** – skluz s je větší než 1. Rotor se točí proti směru otáčení magnetického pole statoru
- **Motorický režim** – provoz v rozsahu skluz $s = 1$ (otáčky $n = 0$) až skluz $s = 0$ (otáčky $n = n_s$)
- **Generátorický režim** – rotor se točí otáčkami vyššími, než jsou otáčky synchronní n_s

3. Asynchronní motor a měnič frekvence

Elektrické stroje obecně jsou technické soustavy, určené k přeměně energie jednoho druhu na energii jiného druhu nebo stejnou s jinými parametry a vlastnostmi. Účinnost této přeměny je limitována reálnými fyzikálními vlastnostmi jednotlivých součástí, obecně největší část z dodané energie se přenesení k dalšímu využití, menší část řadíme mezi parazitní energetické děje. Jejich podrobným rozbořem najdeme řadu vedlejších vlivů, které odčerpávají část energie z jejího hlavního toku strojem na základě několika rozdílných mechanismů (tepelné ztráty, vibrace a hluk, elektromagnetické vyzařování, tření atd.).[4]



Obr.3 Cesta dominantní přeměny energie v soustavě měnič – motor [4]

U asynchronního stroje je jednou z tvořených nebo dodávaných energií energie elektrická, druhá mechanická. Na pozadí dominantní obousměrné přeměny těchto energií vznikají v asynchronním stroji dílčí procesy, které tuto přeměnu zčásti podporují, zčásti omezují a zčásti jsou na ní nezávislé. Tyto parazitní procesy ve většině případů snižují energetickou účinnost přenosu energie nebo snižují spolehlivost a životnost stroje, např. urychlením degradace izolačního systému a provozních vlastností dalších použitých materiálů.[4]

Asynchronní stroje jsou konstruovány pro sinusový průběh elektrických veličin. V okamžiku, kdy je asynchronní stroj napájen z měniče frekvence, se situace ve stroji (pohonu) dramaticky mění. Motor napájený z měniče tedy tvoří s tímto měničem soustavu, ve které se většina fyzikálních dějů odehrává za jiných podmínek než u samotného motoru napájeného ze sítě – především ty, jež jsou úměrně závislé na časových změnách elektrických a magnetických veličin. Poměr závažnosti vlivu parazitních procesů na hlavní proces přeměny energie je jiný, objevují se nové děje svázané s vysokými spínacími frekvencemi a vysokými strmými veličinami. Navíc děje, které byly konstrukčními úpravami v průběhu vývoje minimalizovány, jsou často právě těmito frekvencemi opět posíleny a vystupují nad únosnou mez (především elektromagnetické a elektrostatické děje s vlivem na izolační systém a konstrukční části).[4]

V současné době pracují všechny moderní napěťové měniče s pulsně šířkovou modulací výstupního napětí. Spínací jev, který je vyvolán při každém spínacím pulsu, je původcem značně strmých impulsů, běžně až 10 kV/μs.

Kromě harmonických, vznikajících přímo ve stroji se v něm vyskytují i harmonické, které jsou mu „vnuceny“ zvnějšku a které označujeme jako časové harmonické. Tyto harmonické jsou výrazné právě v okamžiku napájení stroje z měniče frekvence.

U napěťových měničů má napětí buď tvar obdélníku, nebo je ve tvaru pulsů. Tedy u těchto měničů obsahuje značné množství harmonických křivek napětí. U proudového měniče je proud připojeného motoru blízký obdélníku či lichoběžníku a naopak napětí je blízké sinusovce s komutačními špičkami. Cyklokonvertor jako zdroj nízkého kmitočtu generuje sinusové proudy i napětí s relativně menším obsahem harmonických, negativní vlivy jsou u něj menší než u výše uvedených měničů.[4]

3.1. Měnič frekvence

Měnič frekvence v současném pojetí je elektronický přístroj, který umožňuje měnit frekvenci sítě na požadovanou frekvenci. Měniče frekvence jsou určeny pro nejrůznější použití, avšak v běžném technickém slovníku se jimi rozumějí měniče pro asynchronní motory. Tímto spojením získávají tyto střídavé točivé stroje schopnost hospodárně regulovat otáčky v širokém rozsahu.

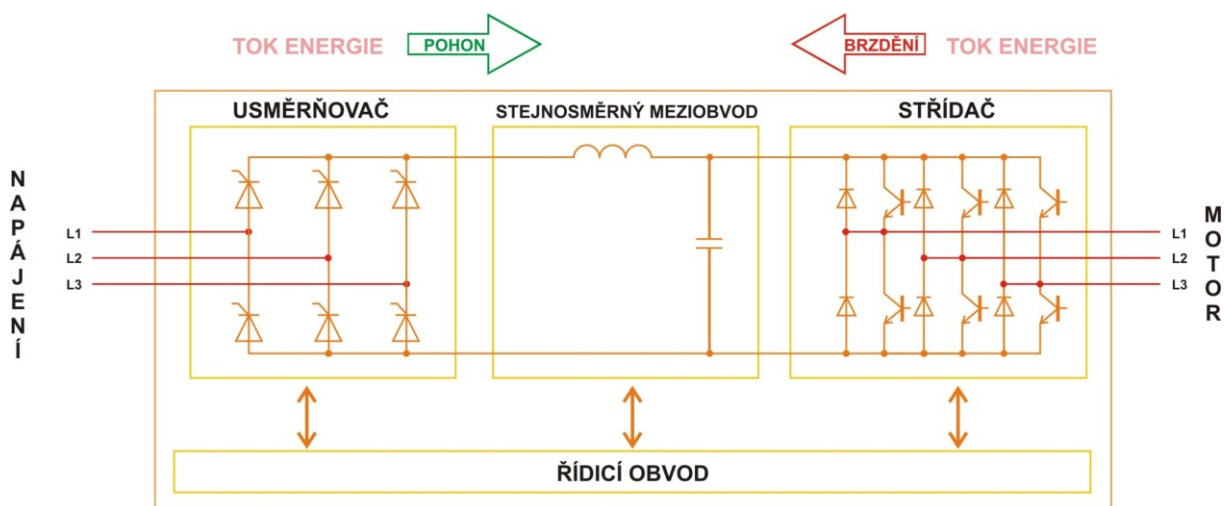
Pro úplnost je třeba se zmínit, že se pro stejné zařízení často používají též méně správné názvy frekvenční měniče nebo střídače.

Měniče frekvence se skládají z výkonové části, zajišťující přeměnu parametrů napájecí sítě, a z řídicí elektroniky, která ovládá výkonovou část a umožňuje komunikaci s okolím. Řídicí elektronika moderních měničů často zvládne mnoho úloh, které by jinak musely být zahrnuty v nadřazeném řídicím systému. [5]

Frekvenční měnič:

- Mění napětí sítě na stejnosměrné a znovu jej střídá.
- Je tak možné regulovat nejen frekvenci, ale i napětí.
- Usměrnění probíhá pomocí tyristorů nebo diod.
- Střídání pomocí výkonových tranzistorů, např. IGBT.

- Řídicí obvod podle daného algoritmu a způsobu řízení ovládá všechny části frekvenčního měniče tak, aby vhodným způsobem nastavil požadované otáčky.
- Otáčky motoru jsou řízeny plynule (téměř od nuly) a s minimálními ztrátami.
- Frekvenční měnič odebírá převážně činný výkon.
- Způsob řízení však může vnášet do napájecí sítě nežádoucí vyšší harmonické frekvence.
- Frekvenční měnič umožňuje i rekuperaci.



Obr. 3.1. Blokové schéma frekvenčního měniče

3.2. Řízení otáček změnou kmitočtu statorového napětí

Nevýhodou asynchronního motoru je, že u něj nelze plynule a v širokém rozsahu regulovat otáčky. Řízení otáček je velmi efektivní způsob jak snížit spotřebu energie v nejrůznějších procesech. K tomuto účelu slouží právě frekvenční měniče, které způsobí skutečně velké energetické úspory u zařízení, u kterého se regulují otáčky. Měniče přispívají ke zmenšení emisí CO₂ a snížení nákladů na energii. Proto změnou kmitočtu napájecího napětí je možné měnit otáčky plynule v dosti širokém rozsahu. Je však mimo motoru nutno mít k dispozici zdroj tohoto kmitočtu, tj. měnič kmitočtu. V současné době rozvinuté polovodičové techniky jsou tyto měniče kmitočtu realizovány pouze na této bázi. Kmitočtová regulace je jedním z nejhospodárnějších způsobů regulace otáček asynchronních motorů.

3.3. Harmonické kmitočty

Harmonická frekvence je celočíselným násobkem základní frekvence. Vznikají v důsledku zatížení, která zkreslují sinusový průběh elektrického proudu. Představují vedlejší produkt moderních výkonových elektronických řídicích obvodů. Například střídač s proměnlivým kmitočtem vytváří vyšší harmonické jako každá nelineární zátěž připojená k elektrické síti.[5]

3.4. Vliv harmonických na zařízení

V důsledku přítomnosti harmonických proudů dochází k vzrůstající spotřebě elektrické energie, zvýšené ztrátě v systému, namáhání řádového zařízení a ke zvýšenému výskytu rezonančních proudů v elektrické síti. Výskyt vyšších harmonických snižuje spolehlivost, prodlužuje dobu výpadku, negativně ovlivňuje kvalitu výroby, zvyšuje provozní náklady a vede k menší produktivitě.[6]

4. Měření hodnot asynchronního motoru a měniče

4.1. Použité přístroje

- Třífázový motor Siemens

	V	Hz	A	KW	cos	1/min	η
Δ	230	50	8,6	2,2	0,81	1425	
Y	400	50	4,90	2,2	0,81	1425	79,7

- Wavesurfer 3024 200MHz Oscilloscope 4Gs/s

- Voltmetr 573/473

- 3xWattmetr $\cos\phi$

- Dynamometr 17972/0, 50Hz, 5KW, 260V, 15,3A, 2900ot/min, rok 1992

- Magnotrol SA, Model 6400

- Zkušební pult DT2

4.2. Naměřené data

Asynchronní motor:

$P_1(W)$	$P_2(W)$	$P_3(W)$	$P(W)$	$M(Nm)$	$n(min^{-1})$	$I_1(A)$	$I_2(A)$	$I_3(A)$
945	881,25	870	2171	14,37	1437	5,07	4,87	4,93

Měnič:

$P_1(W)$	$P_2(W)$	$P_3(W)$	$P(W)$	$M(Nm)$	$n(min^{-1})$
-	-	-	2202	14,8	1425

Výkony se nedaly změřit. Neměla jsem k dispozici žádný výkonový analyzátor a wattmetry začaly vykazovat naprosto nesmyslné hodnoty. Bylo také zjištěno větší napětí. Napětí bylo vyšší jak 400V a otáčky jsou zde nižší než u asynchronního motoru.

4.3. Výpočty

Moment asynchronního motoru dle štítku:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}} = \frac{2200}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1425}{60}} = 14,75 Nm$$

Moment asynchronního motoru z naměřených dat:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}} = \frac{2171}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1437}{60}} = 14,43 Nm$$

Vstupní příkon:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 945 + 881,25 + 870 = 2696,25 W$$

Účinnost:

$$\eta = \frac{P_V}{P_P} = \frac{2171}{2696,25} = 0,8$$

Zdánlivý příkon:

$$S = \frac{(I_1 + I_2 + I_3) \cdot U}{\sqrt{3}} = \frac{(5,07 + 4,87 + 4,93) \cdot 400}{\sqrt{3}} = 3434 VA$$

Účinník:

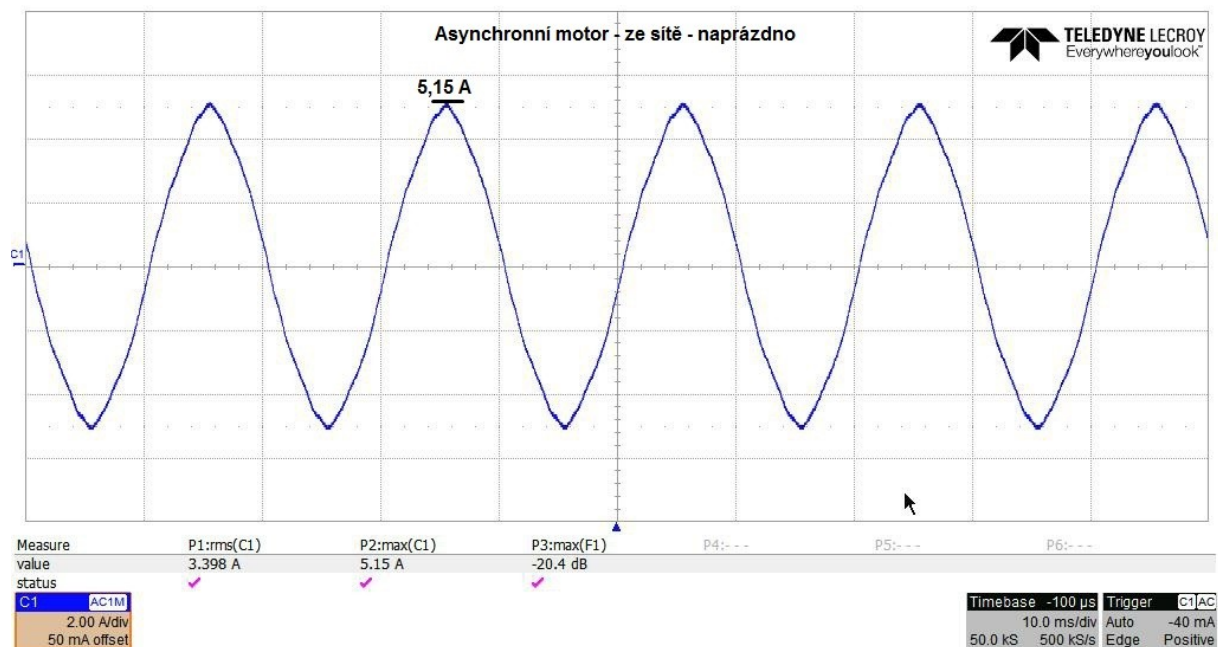
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{2696,25}{3434} = 0,79$$

Vyhodnocení výsledků:

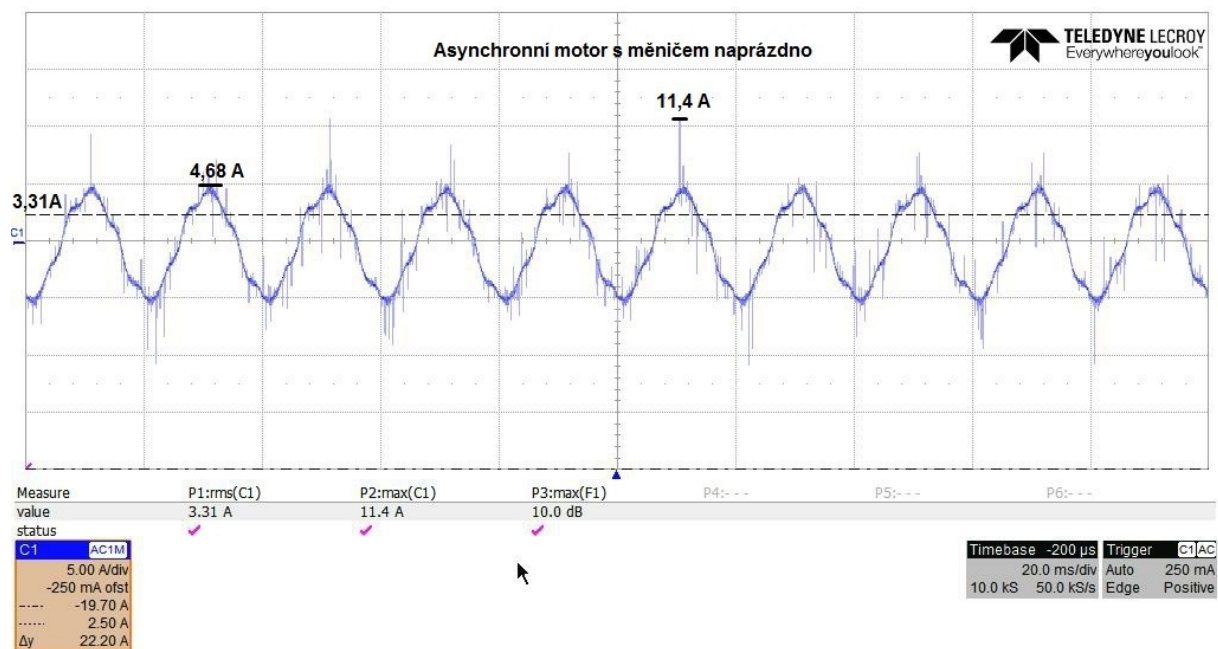
Na základě těchto výsledků si můžeme všimnout, že výkon na hřídeli asynchronního motoru je podle štítku $P = 2,2 kW$ a náš naměřený výkon je poněkud menší $P = 2171 W$. Účinnost nám vyšla 80% a $\cos \varphi = 0,79$. Odchyly výsledků mohou být dány chybou měření. Otáčky jsou zde vyšší, neboť motor může zřejmě vydat víc otáček, než udává štítek.

5. Grafy z měření

5.1. Motor a měnič - naprázdno



Graf č. 1 – Asynchronní motor ve jmenovitém stavu ze sítě naprázdno



Graf č. 2 – Asynchronní motor s měničem naprázdno

Na grafu č. 1 máme motor ve jmenovitém stavu ze sítě a graf č. 2 znázorňuje motor s měničem naprázdno. Maximální proud v měniči se nám zvětšil dvojnásobně a jsou zde vidět i překmity tohoto proudu. Oproti měření ze sítě, kde je proud v krásné sinusové podobě. V jednotlivých proudech můžeme zjistit procentní proud naprázdno.

Procentní proud naprázdno:

Motor ze sítě:

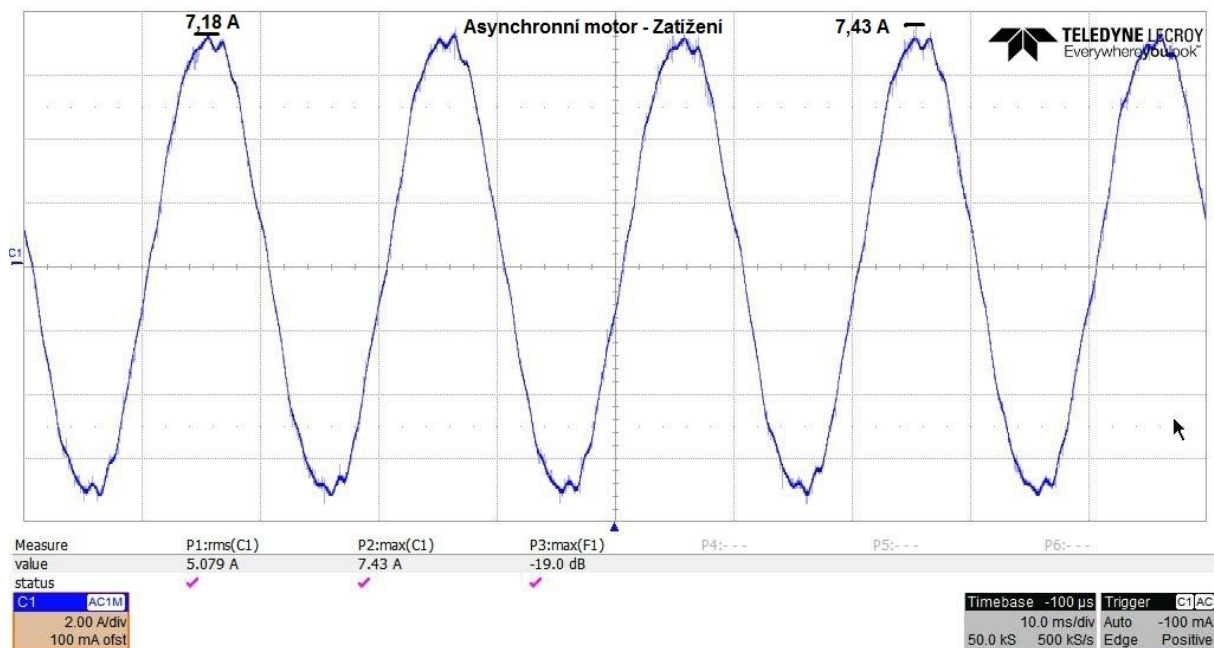
$$i_0 = \frac{I_0}{I_n} = \frac{3,398}{4,9} = 0,69 = 69\%$$

Motor s měničem:

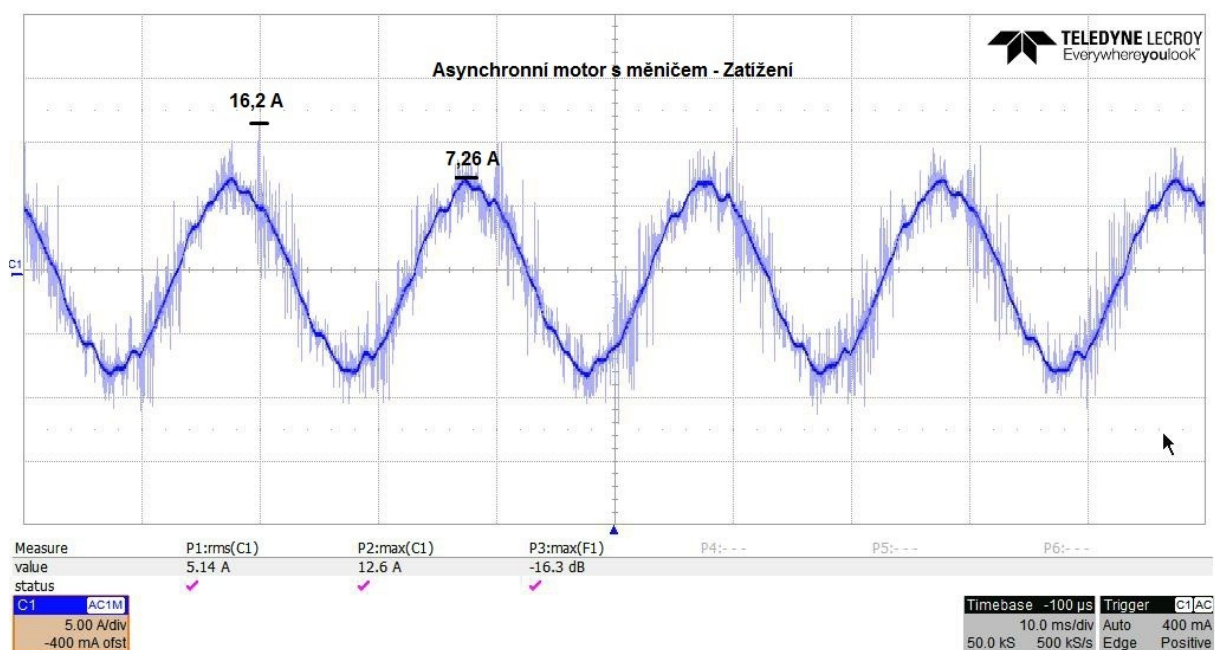
$$i_0 = \frac{I_0}{I_n} = \frac{3,31}{4,9} = 0,675 = 67,5\%$$

5.2. Asynchronní motor a měnič - při zatížení

Po zatížení se nám roztočil dynamometr tak, že jsme si nastavily 2 KW, otáčky 1425 a motor nám začal pracovat do zátěže. Zde se změřil průběh proudu, který prochází daným motorem ve stavu zatížení.



Graf č. 3 – Asynchronní motor při zatížení



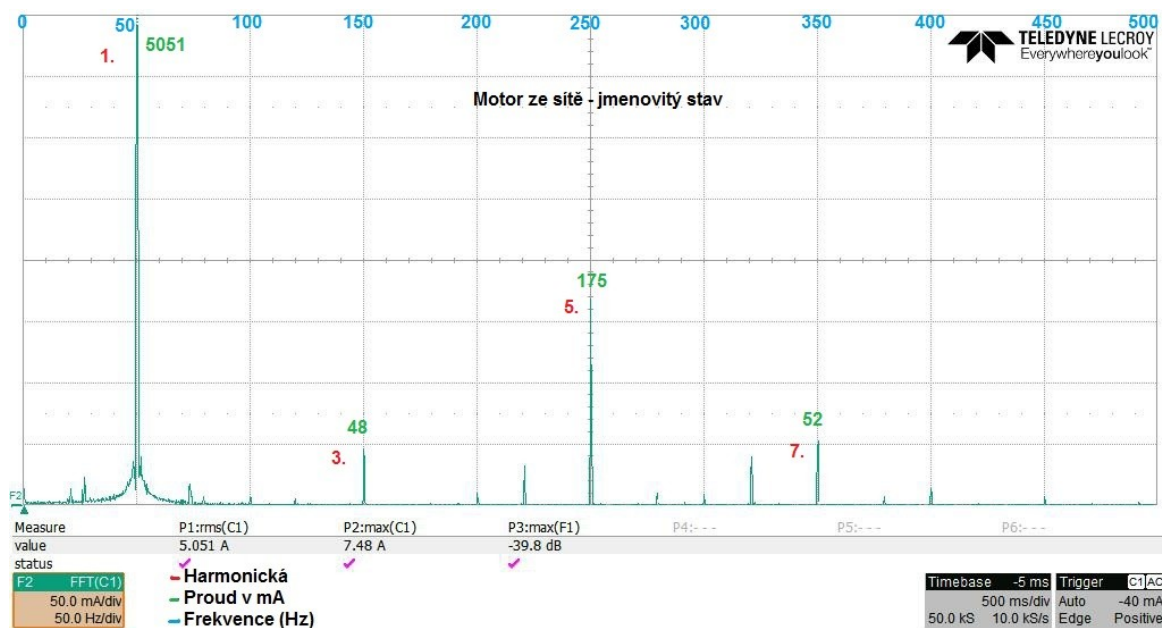
Graf č. 4 – Asynchronní motor s měničem při zatížení

Při zatížení se už u motoru ze sítě objevují minimální překmity proudu. U měniče se oproti proudu naprázdno výrazně zvětšily proudové překmity a proud maximální je opět vyšší než u samotného motoru.

5.3. Asynchronní motor ze sítě a měnič – jmenovitý stav

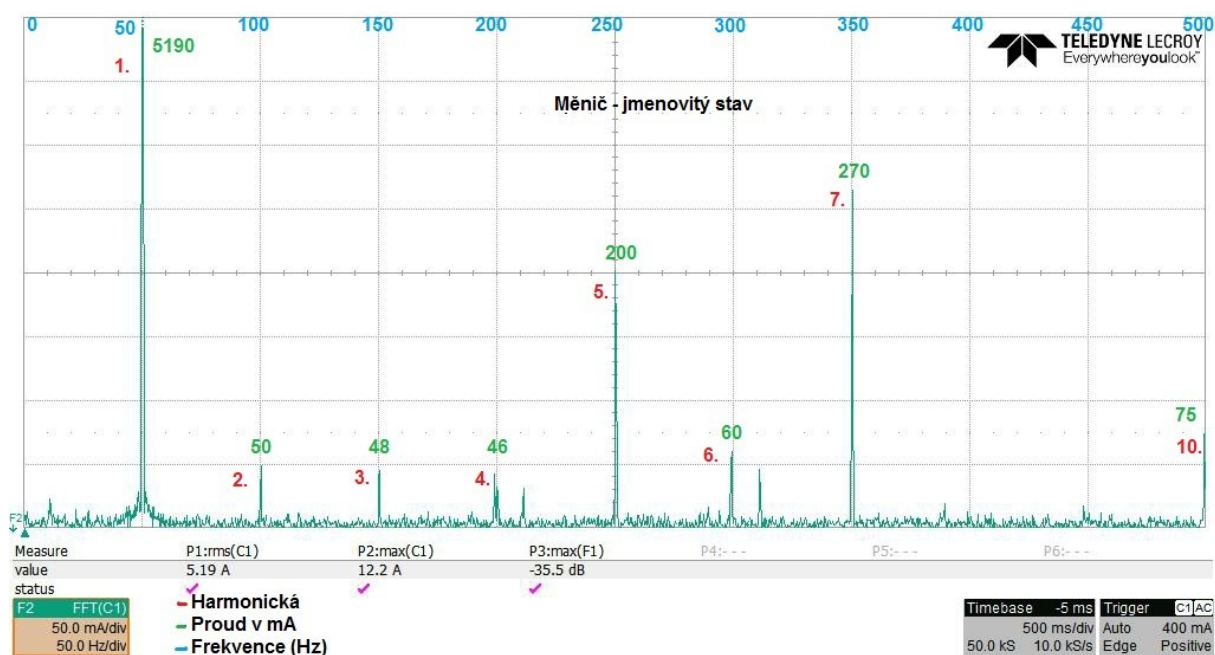
Když jsem měřila motor ve jmenovitém stavu ze sítě, obsah harmonických vypadal takhle:

5.3.1. Spektrum harmonických:



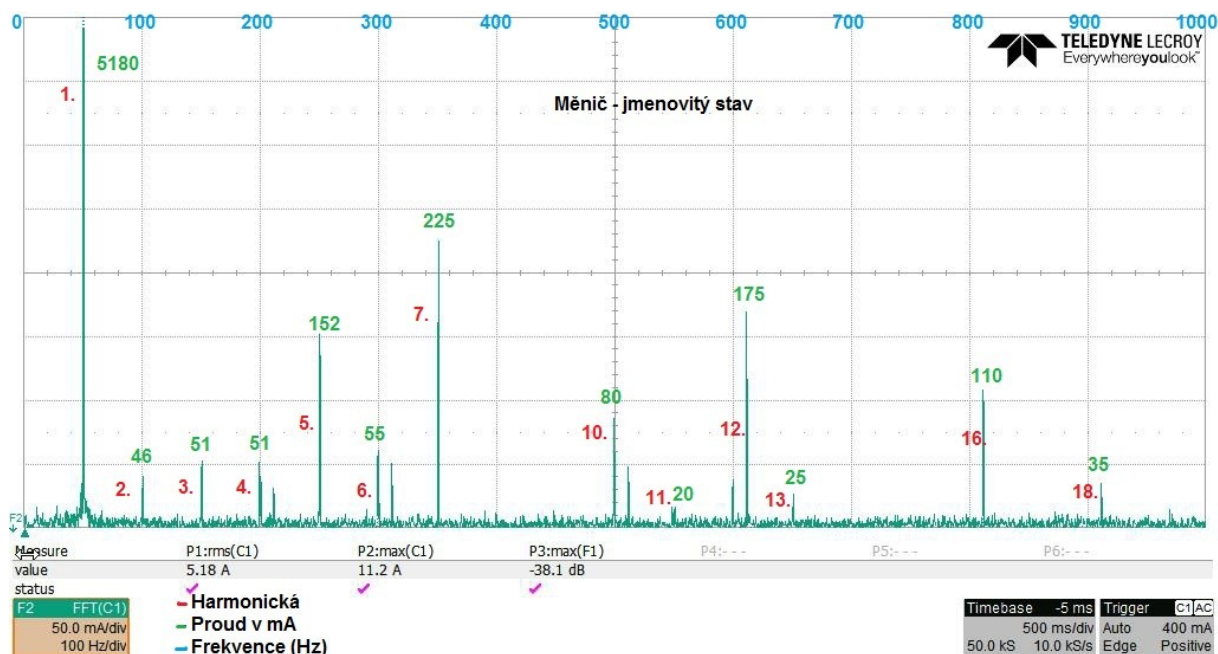
Graf č. 5 – Asynchronní motor ze sítě – jmenovitý stav 50Hz/dílek

U měniče zas takto:



Graf č. 6 – Asynchronní motor s měničem – jmenovitý stav 50Hz/dílek

U asynchronního motoru ze sítě vidíme pouze liché harmonické – 1., 3., 5. a 7. harmonická. Zatímco u měniče si můžeme všimnout sudých i lichých harmonických.



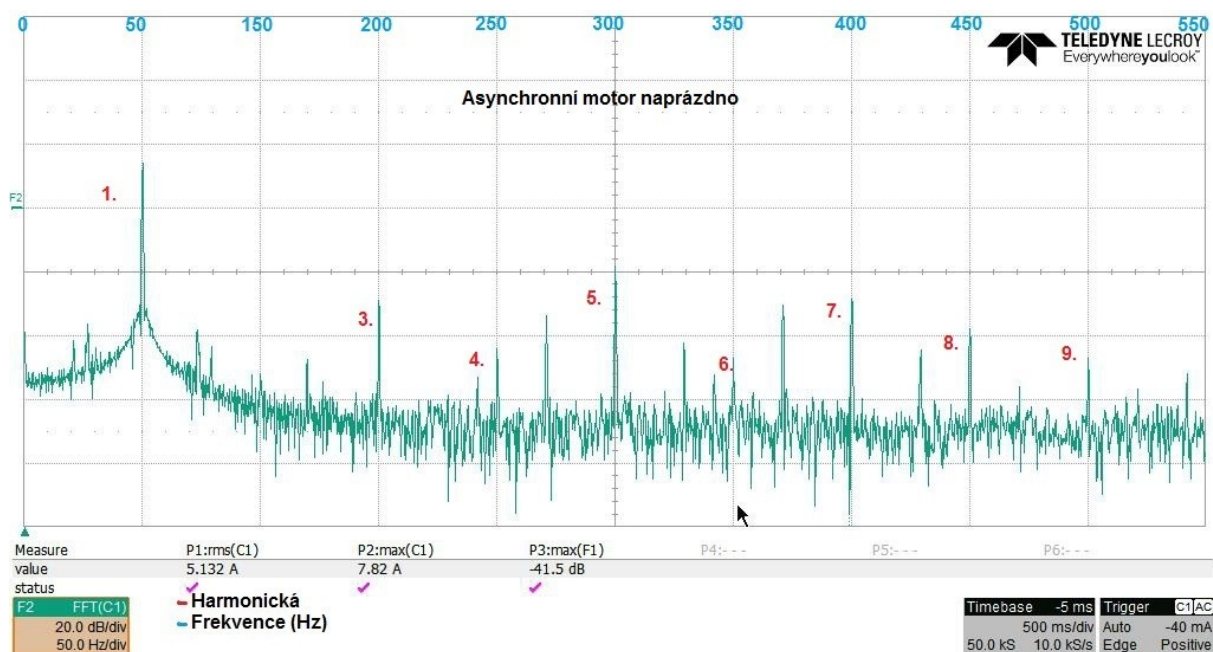
Graf č. 7 – Asynchronní motor s měničem – jmenovitý stav 100Hz/dílek

Toto byli jmenovité stavy, sejmuté průběhy proudů, které vstupují do motoru. Graf č.7 je pouze zvětšení obrázku č. 6. Je zde 100Hz na dílek. Na tomto obrázku můžeme vidět i další

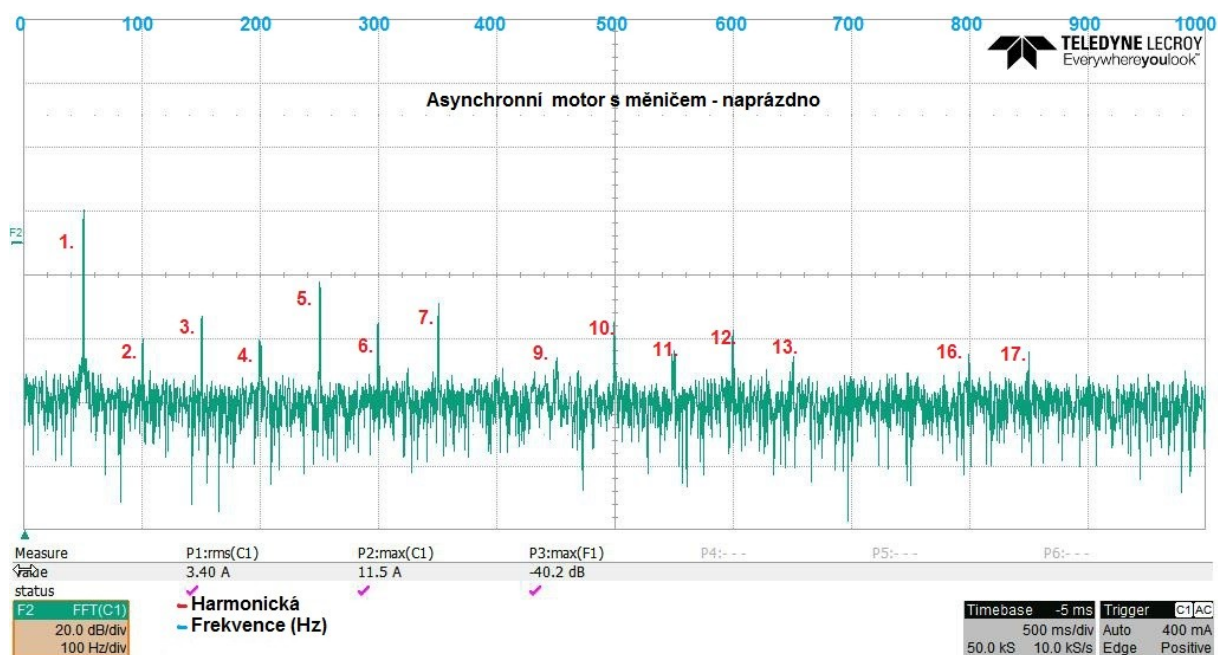
harmonické jako je třeba 11., 13., 16. a 18.. První harmonické jsou velké a tak nejdou vidět úplně celé. Mým cílem bylo ale zjistit i další harmonické, které se tam vyskytují.

5.3.2. Power spectrum

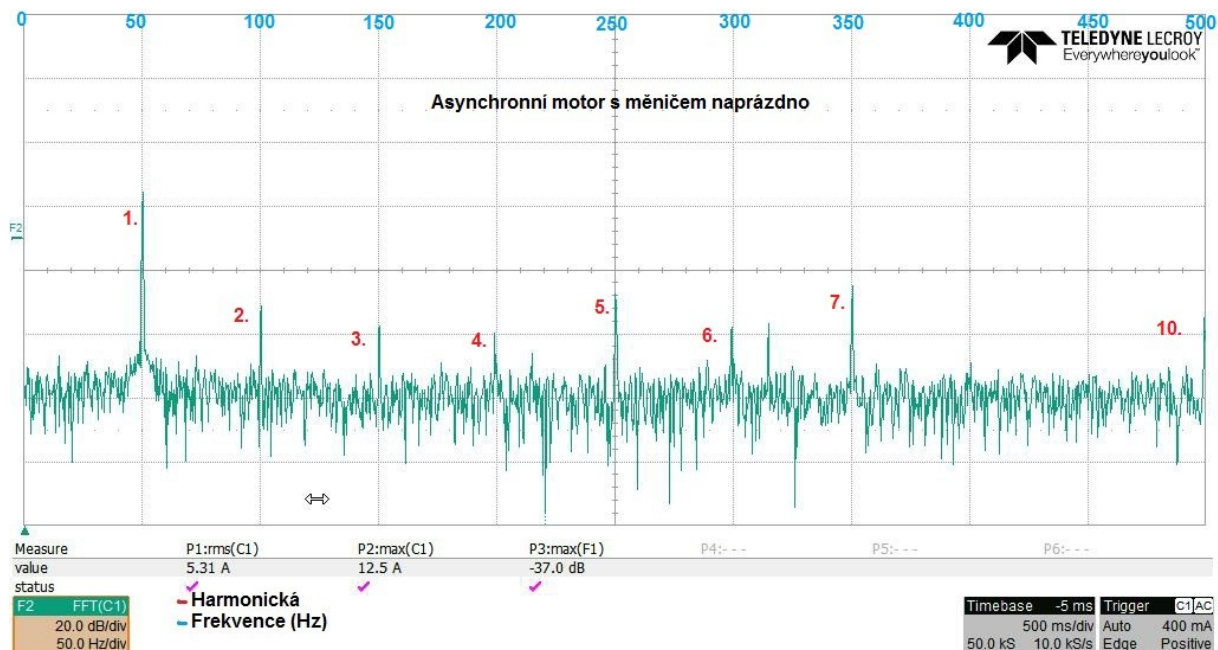
Díky power spectru můžeme vidět všechny harmonické a pomocí vyjádření spektra v decibelech mají stejnou velikost amplitudy.



Graf č. 8 – Asynchronní motor naprázdno 50Hz/dílek



Graf č. 9 – Asynchronní motor s měničem naprázdno 100Hz/dílek



Graf č. 10 – Asynchronní motor s měničem naprázdno 50Hz/dílek

V měniči se nám opět vyskytují všechny harmonické. Jak liché tak sudé. V motoru bez měniče se objevují nepatrně sudé a vyskytují hlavně liché harmonické. Při porovnání obrázku grafu č.10 s grafem č. 7 můžeme zjistit kolik procentuálního obsahu se vyskytuje v jednotlivých harmonických u asynchronního motoru s měničem.

$$3. \text{ harmonická} = \frac{51}{5310} \cdot 100 = 0,96\%$$

$$5. \text{ harmonická} = \frac{152}{5310} \cdot 100 = 2,86\%$$

$$7. \text{ harmonická} = \frac{225}{5310} \cdot 100 = 4,8\%$$

Toto je porovnání grafu č. 8 a č.5. asynchronního motoru.

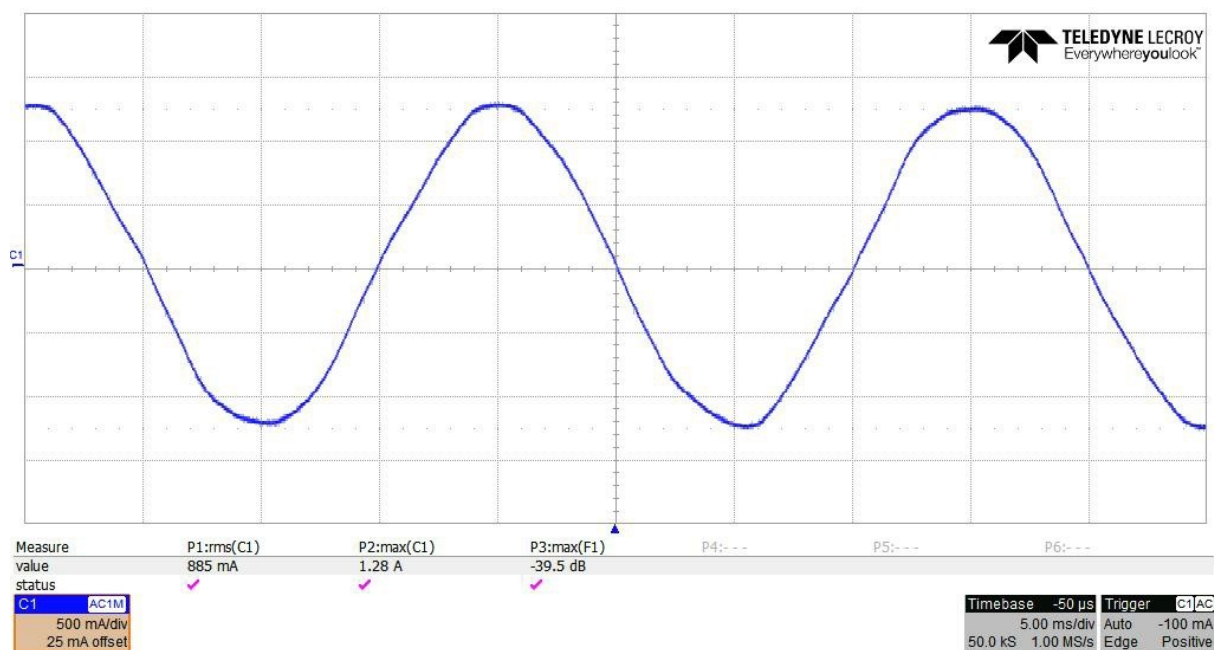
$$3. \text{ harmonická} = \frac{48}{5310} \cdot 100 = 0,94\%$$

$$5. \text{ harmonická} = \frac{175}{5310} \cdot 100 = 3,4\%$$

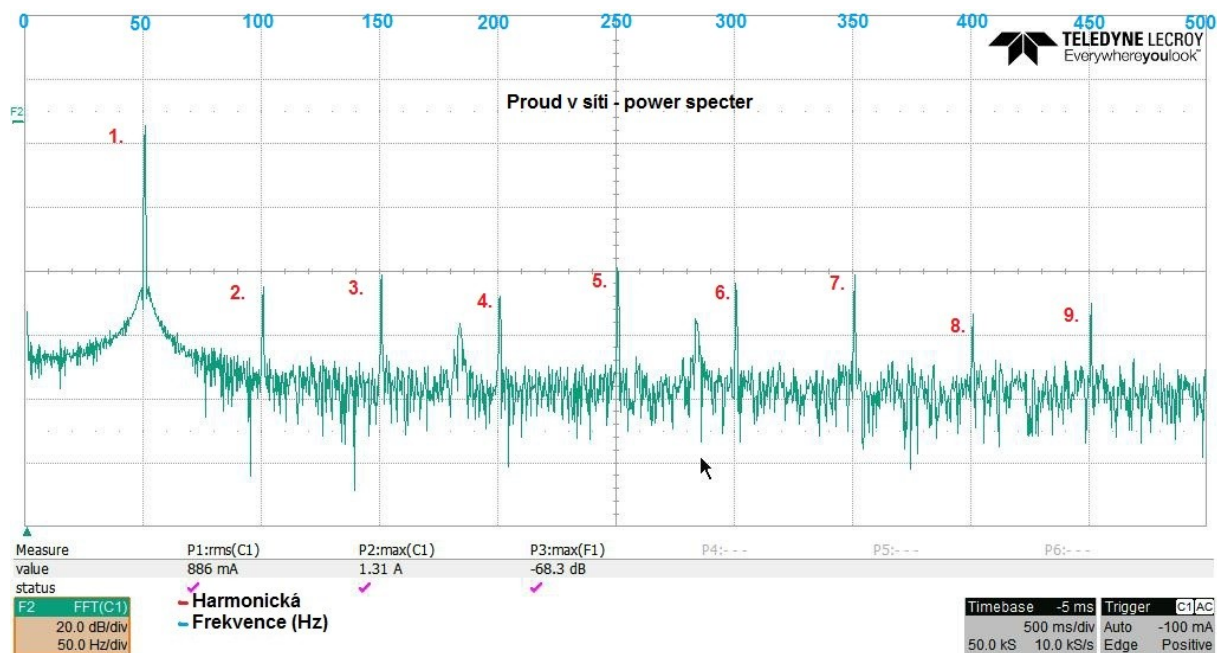
$$7. \text{ harmonická} = \frac{52}{5310} \cdot 100 = 1\%$$

5.4. Proud v síti bez vlivu motoru a měniče

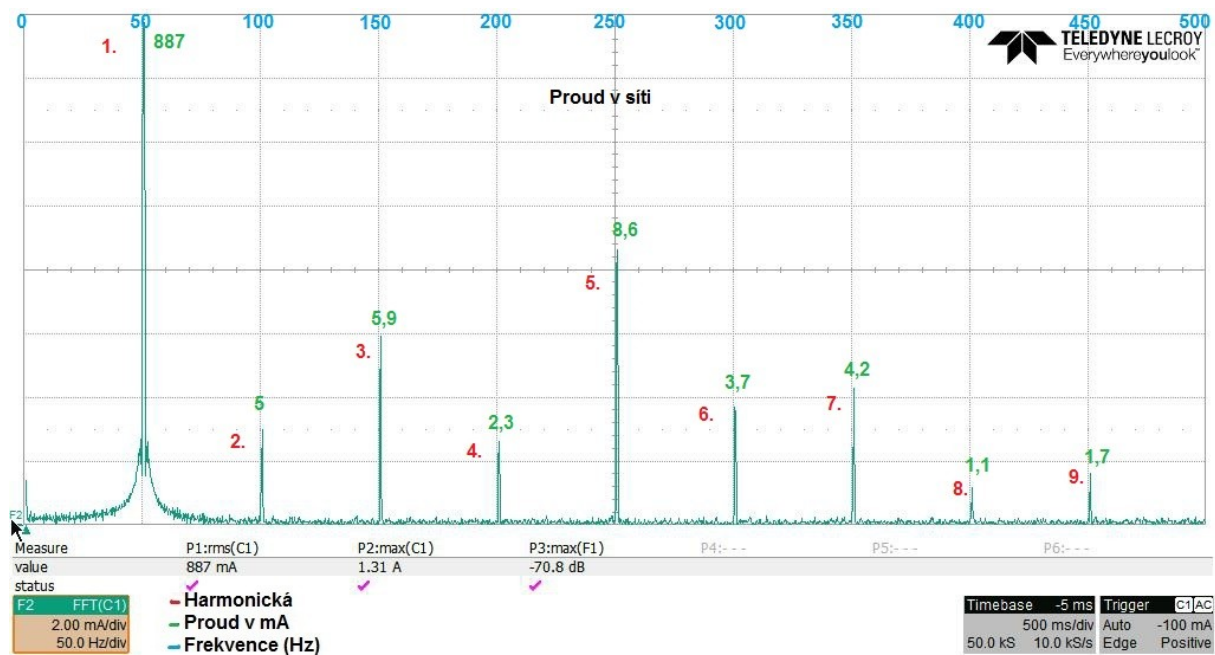
Abych zjistila, zda je síť v pořádku, zapojila jsem k síti odporník a změřila proud.



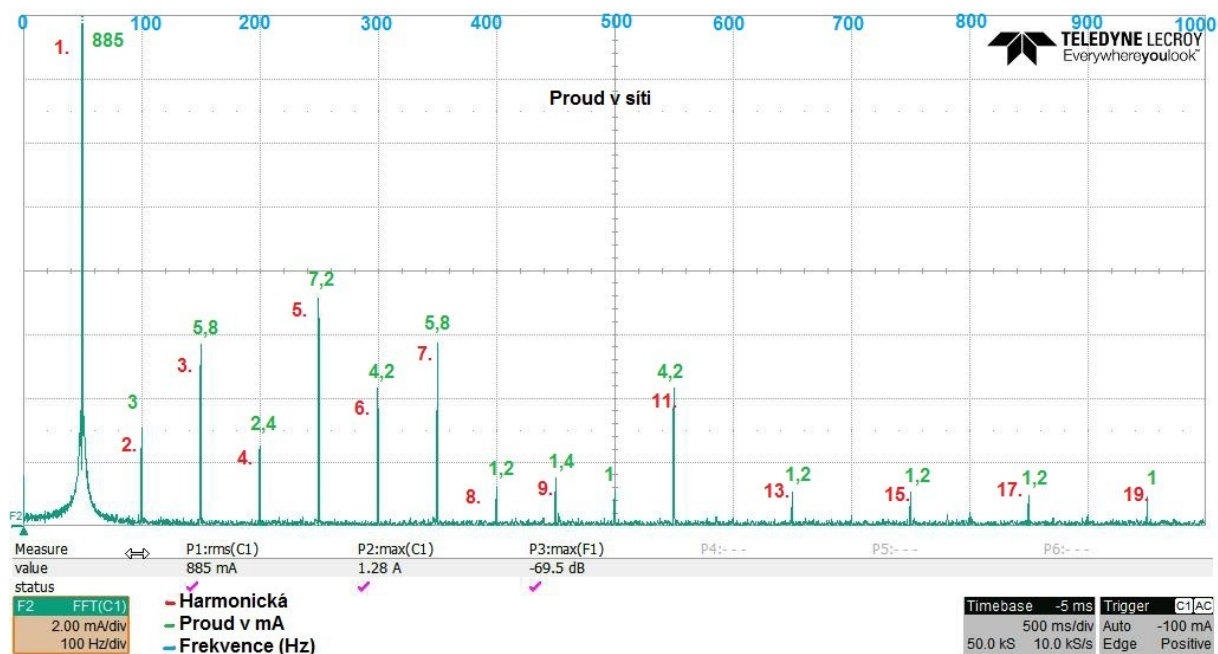
Graf č. 11 – Proud v síti



Graf č. 12 – Proud v síti – power specter



Graf č.13 – Proud v síti v amplitudovém spektru 50Hz/dílek



Graf č. 14 – Proud v síti v amplitudovém spektru 100Hz/dílek

V grafu č. 11 jde vidět pěkný sinusový průběh. V harmonickém spektru opět uvidíme jak sudé, tak liché harmonické.

6. Závěr

V této práci jsem se snažila zjistit parametry asynchronního motoru při napájení ze sítě. Vyzkoušet si zda tyto parametry sedí se štítkem a to samé i u měření asynchronního motoru s měničem. Při spouštění běhu asynchronního motoru nám motor jel správně a při zapojení měniče nám tam začal motor hučet a pískat. Při změně otáček se nám zvuk postupně snižoval. Asynchronní stroj může hlučet z mnoha důvodů mechanických, ale také magnetických. Mechanické důvody jsou nevyváženost rotoru, špatný stav ložisek nebo i nesprávně volenou ventilací.

Údaje k příkonu měniče jsem nemohla ohodnotit, ale usuzuji, že na základě změn parametrů otáček došlo asi k negativnímu působení harmonických vyšších řádů. K hodnotám u samotného asynchronního motoru nám hodnoty sedí.

V měření jsme se zaměřili, jak se chová asynchronní motor naprázdno, při zatížení, ve jmenovitém stavu a v dalších spektrech, které můžeme pak vidět na grafech. Při měření naprázdno se nejednalo úplně o stav naprázdno, jelikož jsme měli na motor připojený dynamometr. Při tomto stavu můžeme z grafů vidět, že motorem procházel proud v sinusové podobě a u měniče se vyskytly menší překmity. Při zatížení jdou na asynchronním motoru vidět menší překmity a u měniče velké překmity. Tudíž byl stroj dobře zatížený a měnič byl víc namáhán.

Harmonické nám vyhodnocoval náš osciloskop, který měl v sobě funkci Fourierovu transformaci, a pomocí ní jsme nemuseli vše manuálně řešit. Asynchronní motor převážně ukazoval liché harmonické a měl nižší proud, zatímco asynchronní motor s měničem nám začal ukazovat sudé i liché harmonické a proud byl větší. Výskyt těchto vyšších harmonických může způsobovat výskyt rezonačních proudů v elektrické síti, vzrůstá spotřeba elektrické energie, zvyšuje provozní náklady a vede k menší produktivitě. Na základě těchto harmonických je zařízení namáháno a nemusí být tak spolehlivé.

Rozdíly mezi asynchronním motorem a měničem se vyskytly v chování a ve velikosti otáček. Měnič je dobrý k regulaci ale u našeho samotného měření si myslím, že práce asynchronního motoru je čistá.

7. Literatura

- [1] VLADAŘ, Jaroslav, Zelenka. Elektrotechnika a silnoproudá elektronika, Praha 1986, SNTL
- [2] KOČMAN, Stanislav. Asynchronní stroje, Ostrava 2002, FEI VŠB – TUO
- [3] NAVRÁTILOVÁ, Eva. Asynchronní motor
- [4] BERNAT, Petr. Negativní vlivy měničů frekvence na asynchronní motor, Ostrava 2006
- [5] URL: < <http://automa.cz/res/pdf/41060.pdf> >[cit. 2015-4-20]
- [6] URL:<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/21E1E605-F673-4FAD-B1BC-C8181FB4C86B/0/1webFinal_CS.pdf>[cit. 2015-4-20]
- [7] FETTER, František. Asynchronní motory, Praha 1966, SNTL
- [8] RUSNOK, Stanislav, Sobota. Cvičení z elektrických strojů, Ostrava 2013, ISBN 978-80-248-3288-3